



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Paavo Koltola

Tilallisempi työskentely ja sisätilapain- kannus esitys- ja teatteritekniikassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi

Esitys- ja teatteritekniikka

Opinnäytetyö

5.6.2020

Tekijä(t) Otsikko	Paavo Koltola Tilallisempi työskentely ja sisätilapaikannus esitys- ja teatteritekniikassa
Sivumäärä Aika	33 sivua 5.6.2020
Tutkinto	Medianomi
Tutkinto-ohjelma	Esitys- ja teatteritekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Hiekkänen
<p>Tämä opinnäytetyö tutkii tilallisempaa ääni-, valo- ja videotyöskentelyä sekä sen mahdollistamaa sisätilapaikannuksen hyödyntämistä esitystekniikassa. Tilallisemmalla työskentelyllä tarkoitetaan tässä työssä työskentelyä, jossa käyttäjällä on 2D- tai 3D-malli tilasta ja hän käsittelee suoraan sijaintiin liittyviä arvoja. Työ avaa esimerkein tilallisempaa työskentelyä ja sitä, miten tämä ilmenee ääni-, valo- ja videotyöskentelyssä.</p> <p>Työ esittelee eri sisätilapaikannuksen toteutusvaihtoehtoja ja olemassa olevia ratkaisuja keskittyen erityisesti infrapuna- ja ultra-wideband (UWB) -paikannukseen. Lisäksi työ käsittelee tapoja siirtää sisätilapaikannuksen tietoja eri järjestelmien välillä. Protokollista käsitellään PosiStageNet (PSN) ja Real Time Tracking Protocol (RTTrP) sekä Open Sound Control (OSC), joka on joustavuutensa ja monikäyttöisyytensä ansiosta mahdollinen myös paikkatiedon jakamiseen.</p> <p>Tutkimuksen lähteinä on käytetty ensisijaisesti tieteellisiä artikkeleita, alan kirjallisuutta, protokollien kuvauksia. Osana työtä toteutettiin myös rajapinta Pozyx-sisätilapaikannusjärjestelmän käyttämisestä esitystekniikan sovelluksissa. Rajapinta mahdollistaa järjestelmän paikannustietojen tuomisen GrandMA2-järjestelmään. Projektin toteutus on kuvattu työssä. Projektin tarkoituksena oli tutkia sisätilapaikannusjärjestelmän tietojen käyttöä esitysteknisissä järjestelmissä. Projektin lopputuloksena oli, että sisätilapaikannustietojen muuttaminen protokollasta toiseen ja siirtäminen järjestelmien välillä on mahdollista toteuttaa melko yksinkertaisesti.</p> <p>Lisääntyvä tilallisempi työskentely luo uusia mahdollisuuksia ja työskentelytapoja. Keskeisenä on mahdollisuus hyödyntää sisätilapaikannustietoa varsin helposti. Opinnäytetyössä esitellään tätä kytköstä kirjallisuuslähteiden sekä edellä mainitun käytännön projektin kautta. Tutkimuksen johtopäätöksissä odotetaan sisätilapaikannuksen yleistymistä ja halpenemista teattereissa ja tapahtumissa. Tällä hetkellä sisätilapaikannustiedon siirtämiseen on useita eri protokollia, mutta useimmat ovat vapaasti käytettävissä, jolloin valmistajat voivat tukea niistä useita ja protokollasta toiseen muunnos on mahdollista. Käyttäjän kannalta tilanne on hyvä, sillä tällöin käyttäjän valitsema sisätilapaikannusjärjestelmä on mahdollista saada toimimaan useiden eri järjestelmien kanssa.</p>	
avainsanat	sisätilapaikannus, teatteritekniikka,

Author(s) Title	Paavo Koltola Spatial work methods and indoor positioning in theater and entertainment technology
Number of Pages Date	33 pages 5 June 2020
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Live Performance Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Timo Hiekkanen, Lecturer
<p>This thesis explores spatial work methods in sound, lighting, and video production and the use of indoor positioning in theater and live events. The concept of spatial work methods here refers to lighting, sound, and video work using a 2D or 3D model where the user values refer to the actual location of the object. Multiple new sound, video and lighting applications and systems support this type of working which enables the use of indoor positioning. This thesis uses concrete examples to illustrate how these methods are applied to sound, lighting and video production.</p> <p>Indoor positioning systems (IPS) use multiple technologies. Most central to this thesis are ultra-wideband and infrared technologies. A variety of protocols exist to transfer data from IPS to other systems. PosiStageNet (PSN) and Real Time Tracking Protocol (RTTrP) are protocols designed for sharing location data between systems. Open Sound Control (OSC)– though not designed specifically for this task–can also be used due to its robustness and versatility.</p> <p>The research is based on scientific articles, books about theater technology as well as protocol specifications. I created a computer program for Pozyx IPS to communicate with the GrandMA2 lighting console and to research the possibilities of using a general purpose IPS with live sound, lighting and video systems. The expected conclusion, that converting the positioning data from one protocol is a relatively simple process, was confirmed in this process.</p> <p>Systems that support spatial work methods are expected to increase in the future. This provides users and designers with new possibilities, such as adding an IPS to these systems that support positioning data. It is expected that the general interest in IPS across a variety of sectors will increase their affordability for small theaters and production venues.</p> <p>Even though indoor positioning systems use several different protocols for positioning data, most of these protocols are open, which allows for the receiving equipment to support more than one protocol. As demonstrated by the research, converting from one protocol to another is also possible. This leaves the user in a good position to choose the best IPS for their needs as the IPS is or can be made compatible with most of their existing lighting, sound and video equipment.</p>	
Keywords	indoor positioning, stage engineering

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tilallisempi työskentely	3
2.1	Tilallisempi työskentely käsitteenä	3
2.2	Koordinaatistot	4
2.2.1	Napa- ja pallokoordinaatistot	4
2.2.2	Suorakulmainen koordinaatisto	5
3	Tilallisempi työskentely äänen, valon ja videon kannalta	6
3.1	Äänen lokalisaatio	6
3.1.1	Äänen sijainnin ja suunnan havaitseminen	6
3.1.2	Äänen paikantuminen tilassa	7
3.1.3	Objektipohjainen ääni	8
3.2	XYZ-valo-ohjelmointi	9
3.2.1	Suorakulmaisen koordinaatiston muuttaminen pallokoordinaatistoon	10
3.3	Kolmiulotteinen video-ohjelmointi	14
4	Sisätilapaikannus	14
4.1	Sisätilapaikannus yleisesti	14
4.2	Sisätilapaikannuksen käyttömahdollisuudet esitystekniikassa	15
4.3	Sisätilapaikannuksen teknologiat	16
4.3.1	Infrapuna	16
4.3.2	Ultra-wideband	18
4.3.3	Muut paikannusteknologiat	21
5	Protokollat sijaintitiedon siirtämiseen	21
5.1	PosiStageNet	21
5.2	Real Time Tracking Protocol (RTTrP)	22
5.3	Open Sound Control (OSC)	22
5.4	MQ Telemetry Transport (MQTT)	22
6	Käytännön projekti	23
6.1	Lähtökohta	23
6.2	Pozyx	23
6.3	Projektin toiminta	24
6.4	Projektin haasteet ja yhteenveto	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	31

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan tilallisempaa ääni-, valo- ja videotyöskentelyä sekä sisätilapaikannuksen hyödyntämistä esitystekniikassa. Työ kartoittaa mahdollisia sisätilapaikannuksen toteutusvaihtoehtoja ja olemassa olevia ratkaisuja. Lisäksi esitellään joitakin esimerkkejä tilallisemmasta työskentelystä ja tuotteista. Osana työtä toteutetaan myös oma rajapinta Pozyx-sisätilapaikannusjärjestelmän käyttämisestä esitystekniikan sovelluksissa.

Tilallisemmalla työskentelyllä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa työtapoja, joissa käyttäjällä on 2D- tai 3D-malli tilasta ja käyttäjä käsittelee suoraan sijaintiin liittyviä arvoja. Yleensä tämä tarkoittaa koordinaatteja. Tälle työskentelylle ei ole vakiintunutta ilmaisua, mutta tämän työn puitteissa sitä käsitellään yhtenä ilmiönä, koska samankaltaisia kehityskulkuja on nähtävissä useissa esitysteknisissä järjestelmissä niin äänen, valon kuin videon saralla. Tämä kehitys on merkityksellistä ja avaa itsessään uusia mahdollisuuksia, joita haluan opinnäytetyössäni tutkia. Erityisesti nämä järjestelmät mahdollistavat sisätilapaikannuksen hyödyntämisen, joka on opinnäytetyön toinen tutkimuksen kohde.

Työssä avataan esimerkein tilallisempaa työskentelyä ja sitä, miten tämä ilmenee ääni-, valo- ja videotyöskentelyssä. Lukijalle pyritään antamaan yleiskuva eri sisätilapaikannustekniikoista. Osana opinnäytetyötä toteutetaan myös projekti, jolla pyritään tutkimaan sisätilapaikannusjärjestelmän liittämistä olemassa oleviin järjestelmiin. Projekti pyrkii osoittamaan, että sisätilapaikannusjärjestelmän on mahdollista olla järjestelmäagnostinen, eli se voi toimia useiden eri valmistajien valo-, ääni- ja videojärjestelmien kanssa.

Opinnäytetyössä avataan opinnäytetyön aihepiiriin liittyviä teknisiä termejä ja käsitteitä lukijalle, mutta lukijalla oletetaan olevan perustiedot esitysteknisistä perustermeistä ja järjestelmien perusteista. Esimerkkituotteita mainitaan vain muutama ja niiden tarkemman esittelyn tai arvioinnin sijaan käsitellään niihin liittyvää teknologiaa yleisemmällä tasolla. Opinnäytetyö ei siis ole edustava katsaus markkinoilla tällä hetkellä oleviin tuotteisiin. Tutkimus keskittyy aihepiirin teknologioihin eikä avaa aihepiirin taiteellisia ulottuvuuksia muuten kuin antaakseen lukijalle yleiskuvan eri mahdollisuuksista. Tämä ei suinkaan tarkoita, etteikö aihepiiri tarjoa uusia kiinnostavia taiteellisia ratkaisuja.

Toisessa luvussa käsitellään tilallisempaa työskentelyä. Myös pallo- ja suorakulmainen koordinaattijärjestelmä esitellään.

Kolmas luku käsittelee tilallisempaa työskentelyä äänen, valon ja videon kannalta. Äänen yhteydessä puhutaan yleensä lokalisaatiosta. Tällä tarkoitetaan psykoakustiikan ilmiöitä, jotka vaikuttavat kuulijan kokemukseen äänen suunnasta. Nykyään käytössä on yhä hienostuneempia työkaluja ja järjestelmiä, joilla äänen lokalisaatiota voidaan muokata halutunlaiseksi. Työ käsittää peruskäsitteet äänen lokalisaation takana ja siirtyy sen jälkeen tarkastelemaan objektipohjaista ääntä. Valon osalta käsitellään XYZ-ohjelmointia. Videotyöskentelyssä kolmiulotteinen video-ohjelmointi antaa uusia mahdollisuuksia etenkin videosuunnittelijan ennakkotyöskentelyyn.

Sisätilapaikannusta käsitellään neljännessä luvussa. Luvussa käydään läpi, mitä on sisätilapaikannus, ja siihen liittyviä erityisiä haasteita. Sen lisäksi käsitellään erilaisia ratkaisuja sisätilapaikannuksen toteuttamiseksi teatteriympäristössä. Infrapunapaikannukselle ja ultra-wideband (UWB) -paikannukselle on omat alaluvut. Luvuissa käydään läpi myös teknologioihin liittyvät paikannusalgoritmit. Näistä keskitytään etenkin jälkimmäiseen, koska UWB-teknologian kehittämiseen vaikuttaa löytyvän huomattavasti mielenkiintoa useissa käyttökohteissa. Käsittely yhteydessä mainitaan joitain esimerkkejä saatavilla olevista tuotteista.

Viidennessä luvussa käsitellään tapoja siirtää sisätilapaikannuksen tietoja eri järjestelmien välillä. Näistä yleisimmät ovat PosiStageNetin (PSN) sekä Real Time Tracking Protocolin (RTTrP), jotka ovat kaksi eri laitevalmistajaryhmien kehittämää ja tukemaa avointa protokollaa sijaintidatan siirtämiseen laitteiden välillä. Käsittelen myös lyhyesti Open Sound Controllia (OSC), joka on joustavuutensa ansiosta mahdollinen myös paikatiedon jakamiseen.

Kuudes luku käsittelee osana opinnäytetyötä toteutettavaa projektia. Tehty rajapinta mahdollistaa belgialaisen Pozyx-paikantimen koordinaattien eteenpäin lähettämisen OSC- ja Art-Net-protokollilla GrandMA2-valopöydälle. Projektin tarkoituksena on tutkia sisätilapaikannusjärjestelmän liittämistä esitys- ja teatteritekniisiin järjestelmiin.

2 Tilallisempi työskentely

2.1 Tilallisempi työskentely käsitteenä

Esitys- ja teatteritekniikan järjestelmissä on tapahtunut paljon edistystä siinä, kuinka voimme työskennellä suhteessa tilaan ja sijaintiin. Käytettävissä on yhä useampia 2D- ja 3D-ohjelmistoja, joilla voimme entistä saumattomammin hallita äänen, kuvan ja valon ominaisuuksia suhteessa tilaan. Tälle ilmiölle ei löydy suoraan käytössä olevaa käsitettä, tässä opinnäytetyössä tätä tapaa kutsutaan tilallisemmaksi työskentelyksi.

Keskeisenä tilallisempaan työskentelyyn liittyy mahdollisuus muokata sijaintiin liittyviä ominaisuuksia sellaisilla arvoilla, jotka vastaavat todellista ympäristöä. Useimmiten tämä tarkoittaa suorakulmaista koordinaatistoa. Esimerkiksi pan- ja tilt-arvojen muokkaamisen sijaan valo-operaattori voi ohjelmoida heittimen sijainnin suoraan suorakulmaista koordinaatistoa käyttäen tiettyyn sijaintiin.

Äänen puolella erilaiset uudet mahdollisuudet sijoittaa ääniä 2D- tai 3D-ympäristössä ovat myös yleistyneet vauhdilla ja useampi valmistaja on tuonut oman ratkaisunsa markkinoille (Rumsey 2018, 987). Puhutaan muun muassa spatiaalisesta äänestä, 3D-äänestä ja objektipohjaisesta äänestä. Näitä ilmaisuja käytetään usein tarkoittamaan melko samoja ilmiöitä, mutta niillä on tiettyjä eroja käyttökohteen mukaan. 3D-äänen ja spatiaalisen äänen yleisimmät käyttökohteet ovat puhuttaessa HRTF-vasteita mallintavasta kuulokekuuntelusta, mutta erityisesti spatiaalista ääntä käytetään myös jonkin verran puhuttaessa uusista sijaintia mallintavista kaiutinjärjestelmistä. Objektipohjainen ääni sen sijaan on helpommin määriteltävä äänentoiston paradigman muutos, jota olen käsitellyt tarkemmin luvussa 3.1.3.

Videotyöskentelyn puolelta löytyy myös järjestelmiä, joilla voidaan mallintaa tilaa kolmiulotteisesti etukäteissuunnittelua ja projisointien kohdistusta varten (Claiborne 2014, 173). Tämä avaa myös videosuunnittelussa uusia mahdollisuuksia (Claiborne 2014, 176).

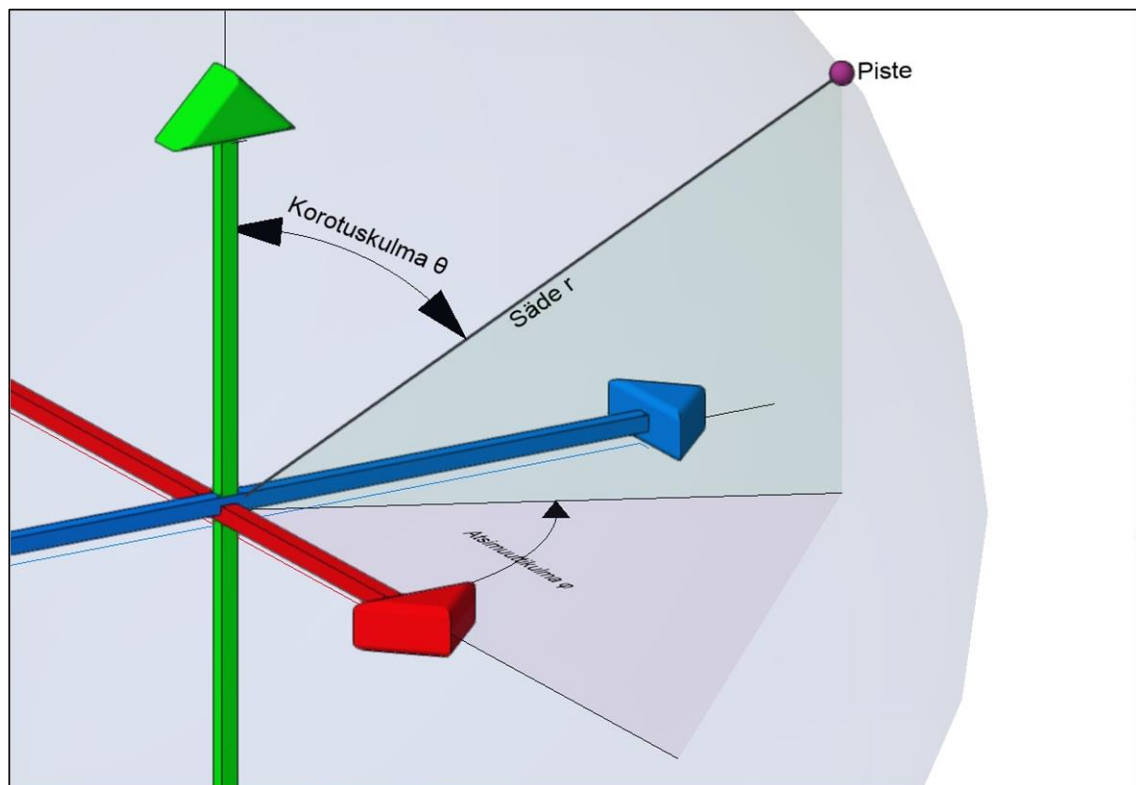
Tilallisemman työskentelyn järjestelmät mahdollistavat myös sisätilapaikannuksen helpomman hyödyntämisen, sillä järjestelmät ymmärtävät jo valmiiksi sijainteja. Tällöin sijaintitietoja ei jouduta muokkaamaan niin paljon, jotta niitä voidaan käyttää hyödyksi.

Tämänkaltaisen tilallisten työskentelytapojen lisääntyminen yleistyy yhä jatkossa, ja se mahdollistaa uusia teknologisia ja taiteellisia ratkaisuja. Se myös luultavasti lisää ääni-, valo- ja videojärjestelmien kommunikointia keskenään erityisesti sisätilapaikannuksen osalta.

2.2 Koordinaatistot

Koordinaatistot ovat geometrisiä järjestelmiä, joilla voidaan esittää objekteja tilassa. Esitelen seuraavissa alaluvuissa napa- ja pallokoordinaatiston sekä suorakulmaisen koordinaatiston, koska viittaan niihin useasti jatkossa.

2.2.1 Napa- ja pallokoordinaatistot



Kuvio 1. Pallokoordinaatisto

Pallokoordinaatiston koordinaatit määrittävät säde (r), atsimuuttikulma (θ) ja korotuskulma (φ). Säde on kohteen etäisyys origosta, atsimuuttikulma on kulma horisontaalisessa tasossa ja korotuskulma on kulma vertikaalisessa tasossa origosta eli koordinaatiston keskikohdasta.

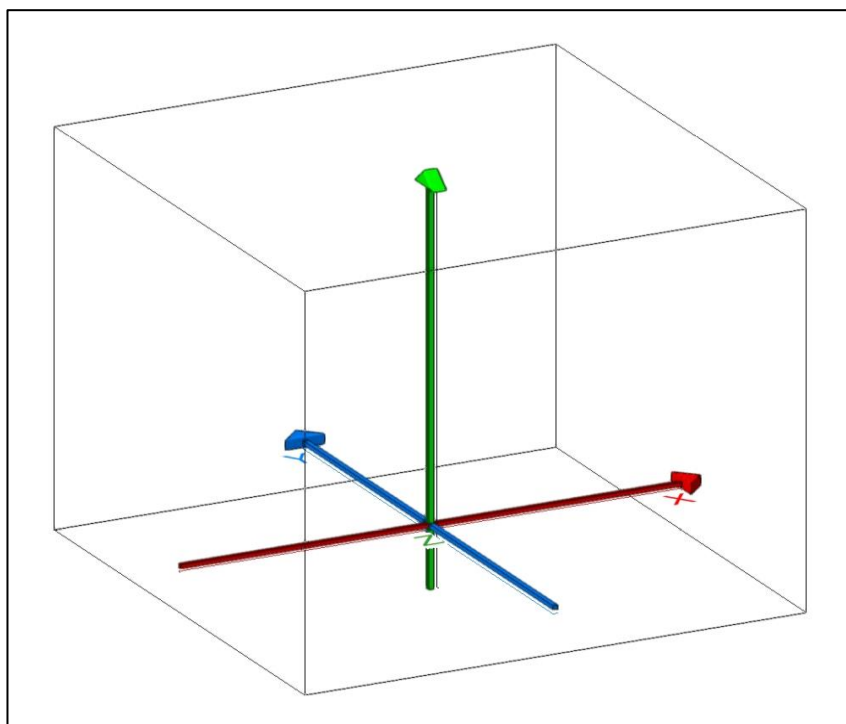
Pallokoordinaatiston käyttö soveltuu erityisesti käyttötarkoituksiin, joissa suunta on keskiössä. Esimerkiksi äänen kanssa työskennellessä voi olla järkevää käyttää

pallokoordinaatistoa niin, että kuuliija sijaitsee origossa. Näin pallokoordinaatistolla voidaan kuvata havaittavien äänien suuntia. (Mattes, Nelson, Fazi ja Capp 2012, 4.)

2.2.2 Suorakulmainen koordinaatisto

Suorakulmaisessa koordinaatistossa sijainti ilmoitetaan akselien avulla. Akseleita tarvitaan yhtä monta kuin on ulottuvuuksiakin. X-akseli on sijainti vaakasuunnassa ja Y-akseli syvyysuunnassa. Jos halutaan mukaan myös kolmas ulottuvuus, käytetään Z-akselia kuvaamaan korkeutta. Akselien yksiköinä käytetään haluttua mittayksikköä, jolloin koordinaatit kertovat, kuinka pitkä matka mitään akselia täytyy kulkea haluttuun pisteeseen. Akselien risteyskohta kutsutaan origoksi. Origossa kaikkien akselien arvo on nolla.

Teattereissa on tyypillistä, että X-akseli on näyttämön leveyssuuntaan ja sen nollakohta on keskellä. Katsomosta katsottuna nollakohdasta vasemmalle siirryttäessä luvut kasvavat negatiiviseen ja oikealle positiiviseen suuntaan. Y-akseli halkaisee näyttämön keskeltä ja kasvaa kohti takaseinää. Sen nollakohta on usein joko portaalin kohdalla, näyttämön etureunassa tai pyörön keskikohdassa. Z-akseli on suoraan ylöspäin, ja näyttämön lattiataso on useimmiten nollakohta.



Kuvio 2. Suorakulmainen koordinaatisto

Suorakulmainen koordinaatisto on pallokoordinaatistoa helpompi hahmottaa ja vastaa paremmin sitä, miten yleensä puhumme asioiden sijainnista. Esimerkiksi kaksi metriä keskikohdasta vasemmalle, metri portaalista takaseinää kohti ja kahden metrin korkeudessa oleva sijainti on suorakulmaisessa koordinaatistossa helppo esittää koordinaateilla: $X=-2$, $Y=1$, $Z=2$. Yleisimmin koordinaatit merkitään sulkuihin ja erotetaan joko pilkulla tai puolipisteellä, jos ne ovat desimaalilukuja. Esimerkiksi $(-2,1,2)$ tai $(-2,0;1,0;2,0)$

3 Tilallisempi työskentely äänen, valon ja videon kannalta

3.1 Äänen lokalisaatio

3.1.1 Äänen sijainnin ja suunnan havaitseminen

Koska äänen paikantumisessa näyttämölle on kyse vastaanottajan havaintojen manipuloinnista, koen välttämättömäksi käsitellä lyhyesti osaa niistä ilmiöistä, jotka liittyvät äänen suunnan havaitsemiseen.

Äänen havainnointi on alisteinen näölle. Jos ääni- ja näköhavainto ovat ristiriitaiset, käytämme ensisijaisesti näkökykyämme (Aho 2016, 22). Vaikka kaiutin olisi useita asteita eri suunnassa puhujaan nähden, korjaamme äänen paikantuvan puhujaan esimerkiksi teatterissa tai elokuvissa. Havaitseminen riippuu myös vahvasti havaitsijan aiemmista kokemuksista, tiedoista sekä muista aineksista. Jätämme nopeasti huomiotta asiat, jotka eivät kiinnosta meitä ja keskitymme meitä kiinnostaviin asioihin. (Aho 2016, 23.)

Paikannamme äänen suuntaa kahden korvamme välisten vaihe-, viive- ja voimakkuuserojen avulla. Korvien väliset aikaerot ovat tärkein äänen suunnan havaitsemisen väline. (Aho 2016, 30.) Äänen tullessa suoraan sivulta 90 asteen kulmassa on aikaero korvien välillä suurin, hieman vajaa 0,7 ms (Howard & Angus 2006, 100). Alle 1,5 kHz äänille korvat aistivat äänen vaihe-eron (Pulkki & Karjalainen 2015, 228).

Lisäksi korvalehtemme, päämme ja ylävartalo (etenkin hartiat) luovat heijastuksia ja resonovat tietyillä taajuualueilla värittäen eri suunnista saapuvia ääniä. Etenkin mediaanitasolla, jolla äänilähteen etäisyys molempiin korviin on yhtä pitkä, on tästä ilmiöstä merkittävää apua suuntakuulemiseen. Näitä muutoksia kuvataan pään

siirtofunktiona (head-related transfer function, HRTF). (Pulkki & Karjalainen 2015, 222–223.)

Ensiäänivaikutus, joka tunnetaan myös Haasin efektinä hollantilaisen Helmut Haasin mukaan, liittyy äänen tulosuunnan havaitsemiseen, ja sitä käytetään hyödyksi teattereissa ja konserttiäänentoistossa. Jos kuulemme äänen useasta eri suunnasta, ääni paikantuu siihen suuntaan, josta se saapuu ensin. Ensiäänivaikutus toteutuu, jos äänien ero on alle 40 ms ja myöhemmät äänet eivät ole huomattavasti voimakkaampia. (Aho 2016, 35–36.)

Ensiäänivaikutelmaa voidaan hyödyntää esimerkiksi konserttien viivekaiuttimissa, jolloin niiden ääntä viivästetään niin paljon, että ääni paikallistuu silti esityslavalle eikä viivekaiuttimiin. Teattereissa ensiäänivaikutelmaa hyödynnetään esimerkiksi tukevoitettaessa pieniä tehostekaiuttimia ajamalla tehostetta myös PA-kaiuttimiin, jolloin PA-kaiuttimia viivästetään niin paljon, että ääni paikallistuu silti lähelle tehostekaiutinta.

3.1.2 Äänen paikantuminen tilassa

Äänen yhteydessä puhutaan usein lokalisatiosta. Tällä tarkoitetaan äänihavainnon paikallistamista äänilähteeseen ääniympäristössä (Pulkki & Karjalainen 2015, 221). Nykyään käytössä on yhä hienostuneempia työkaluja ja järjestelmiä, joilla äänen lokalisatiota voidaan muokata halutunlaiseksi.

Teatterissa ja esitystekniikassa vahvistettuun äänen toistoon käytetään kaiuttimia. Yksinkertaisimmillaan ääni paikantuu siihen kaiuttimeen, josta ääni toistetaan (tai sitä tarpeeksi lähellä olevaan asiaan, jos näköhavainto puoltaa sitä).

Stereoäänentoistolla tarkoitetaan yleensä kaksikanavaista ääntä (Laaksonen 2006, 272). Optimaalisena kaiutinsijoitteluna pidetään tasasivuista kolmiota, jonka yhdessä kulmassa on kuulija ja kahdessa muussa kaiuttimet. Kolmion kaiuttimien välistä janaa kutsutaan stereokannaksi. (Laaksonen 2006, 273.) Monoääntä voidaan panoroimalla sijoittaa jompaankumpaan kaiuttimeen tai niiden väliselle stereokannalle. Yleisin panorointitapa on muokata äänilähteen voimakkuutta vasemman ja oikean kanavan välillä. Äänen onnistunut paikantuminen stereokannalle vaatii, että kuuntelija ei poikkeakaan kaiuttimien keskipisteestä. (Laaksonen 2006, 275.) Kuuntelijan siirtyessä liikaa sivuun kaiuttimien keskipisteestä ääni paikallistuu stereokannan sijaan lähimpään

kaiuttimeen. Tämä on usein haaste teatteri- tai konserttiympäristössä, koska yleisö ei useinkaan sijoitu pelkästään kaiuttimien keskelle optimaaliseen kuuntelupisteeseen. Tämän takia panorointia joudutaan käyttämään usein varsin maltillisesti, sillä kaiutinjärjestelmät on suunniteltu ensisijaisesti kattamaan koko yleisö tasaisella äänenpaineella lokalisaation sijaan. (Corteel, Foulon & Cangenet 2016, 2.)

3.1.3 Objektipohjainen ääni

Perinteinen tapa tehdä surround- eli tilääntä on kanavapohjainen. Kaiuttimille on tietty määrä lähtöjä ja ääni ajetaan haluttuihin kanaviin, joista se menee yhteen tai useampaan kaiuttimeen. Tyypillinen esimerkki tästä on perinteinen 5.1-järjestelmä, jossa kaiuttimia on viisi kokoalueen kaiutinta ja lisäksi alabassokaiutin eli subwoofer. Kanavakohtaisessa äänessä on tärkeää, että haluttu äänimateriaali on tehty tai miksattu vastaavalle määrälle kaiuttimia. (Rumsey 2018, 987.)

Objektipohjaisessa äänessä sen sisään yksittäisille äänitehosteille tai raidoille määritetään sijainti 3D-tilassa. 3D-tilaan on myös määritetty äänijärjestelmän kaiuttimien sijainnit. Äänijärjestelmä purkaa toistettaessa sijaintitiedon ja toistaa äänen haluttua sijaintia vastaavista kaiuttimista. Järjestelmät käyttävät joko voimakkuuspanorointia, viivepanorointia tai näiden yhdistelmää. (Rumsey 2018, 987–988.) Voimakkuuspanoroinnissa ääni toistetaan voimakkaimmin lähinnä haluttua sijaintia sijaitsevasta kaiuttimesta ja etäisyyden mukaan hiljempaa muista kaiuttimista. Viivepanoroinnissa ääntä viivästetään muista kaiuttimista suhteessa haluttuun sijaintiin viittaaviin kaiuttimiin niin paljon, että ääni paikallistuu haluttuun suuntaan. Tässä keskeisenä ilmiönä toimii kappaleessa 3.1.2 kuvattu ensiäänivaikutus.

Käsite on tullut tunnetuksi erityisesti Dolby Atmoksen myötä, joka on elokuvaäänentoistoon kehitetty järjestelmä. Liveäänentoiston saralla termiä käyttää myös L-Acoustics L-ISA- sekä D&B Soundscape-järjestelmästä. Myös monet vanhemmat monikanavapanorointijärjestelmät toimivat melko samalla tavalla, vaikka niistä ei ole totuttu puhumaan objektipohjaisina järjestelminä. Tällainen on esimerkiksi Meyer Soundin Spacemap-järjestelmä.

Objektipohjaisen äänen hyvinä puolina on sen skaalautuvuus ja riippumattomuus kaiuttimien määrästä. Jos ääni on sijoitettu oikealle, toistaa järjestelmä sen kaikista sijaintia

vastaavista kaiuttimista. Jos järjestelmään esimerkiksi lisätään kaiutin, ei äänien sijoittelua välttämättä tarvitse tehdä uudestaan. (Rumsey 2018, 987–988.) Järjestelmät myös mahdollistavat helpommin esimerkiksi äänen pyörittämisen ympäri tilaa tai muunlaiset poikkeavat sijoitusratkaisut. Myös paikannusjärjestelmän tietojen liittäminen järjestelmään on helpompaa.

Objektipohjaisen äänen hyödyntäminen teatterissa edellyttää äänijärjestelmän kaiutinasettelulta paljon. Perinteisten stereokaiuttimien sijaan on ideaalitalanteessa sijoitettava kaiuttimia varsin tiheään, jotta onnistunut lokalisaatio toimii. Usein ideaalinen kaiutinasettelu muistuttaisi melko paljon aaltokenttäsynteesijärjestelmää, jossa kaiuttimia on vierä vieressä useista kymmenistä satoihin. Onneksi usein pienemmilläkin kaiutinjärjestelmillä saadaan kuitenkin hyviä tuloksia. (Corteel ym. 2016, 3.)

3.2 XYZ-valo-ohjelmointi

XYZ-valo-ohjelmointi tarkoittaa suorakulmaiseen koordinaatistoon pohjautuvaa ohjelmointia. Käytän käsitettä XYZ-ohjelmointi, koska se on jonkin verran vakiintunut.

Yleisin tapa ohjelmoida liikkuvia valonheittämiä on antaa niille pan(panorointi)- ja tilt(kallistus)-arvoja, joilla heitin suunnataan haluttuun paikkaan. Se, minne heitin lopulta osoittaa arvojen syöttämisen jälkeen, riippuu sen sijainnista. Kaksi heitintä, jotka sijaitsevat eri paikoissa, eivät todennäköisesti osoita samaan pisteeseen samoilla arvoilla.

Pan- ja tilt-arvoihin perustuvaa valo-ohjelmointia voidaan kuvata pallokoordinaatistolla. Pallokoordinaatiston koordinaatit määrittävät säde, atsimuuttikulma ja korotuskulma. Säde on kohteen etäisyys origosta, atsimuuttikulma on kulma horisontaalisessa tasossa ja korotuskulma on kulma vertikaalisessa tasossa origosta. Valo-ohjelmoinnissa pan-arvo vastaa atsimuuttikulmaa ja tilt-arvo korotuskulmaa. Sädetä ei yleensä tiedetä, koska sillä ei ole merkitystä; heittimen kiila jatkaa matkaansa niin kauan, kunnes se kohtaa jonkin pinnan.

XYZ-ohjelmoinnissa heittimille sen sijaan annetaan sijainti kolmiulotteisessa suorakulmaisessa koordinaatistossa. Koordinaatisto vastaa oikeaa ympäristöä, jossa toimitaan. Täten jos halutaan heitin osoittamaan esimerkiksi lattian tasolle kaksi metriä vasemmalle lavan keskikohdasta ja kolme metriä takaseinään kohti, antaisi operaattori arvoksi (-2;3;0).

XYZ-ohjelmoinnin hyvänä puolena on sen riippumattomuus heittimen sijainnista, kun ohjelmointi on tehty tallentamalla pelkästään sijainteja koordinaatistossa. Jos haluttuun paikkaan pitääkin suunnata jokin toinen heitin, on sen lisääminen helppoa. Uudelle heittimelle ei tarvitse kuin kopioida edellisen heittimen arvot. Erityisesti XYZ-ohjelmoinnista on apua etukäteisohjelmoinnissa, sillä liikkuvien suuntauksia ei tarvitse välttämättä päivittää tilanne- tai presettikohtaisesti. Toki heittimien sijainnit pitää määritellä tarkasti valo-ohjaimeen.

XYZ-ohjelmoinnin hyvänä puolena on myös se, että se mahdollistaa valo-ohjelmoinnin niin, että liikkuvat heittimet liikkuvat kahden pisteen välillä suorassa linjassa. Kun vastaavasti heitintä halutaan pan-arvoa muuttamalla liikuttaa uuteen asentoon muussa kuin suoraan horisontin tasossa, on liikkeen tuloksena kaari eikä suora viiva. Tämä voidaan todeta myös pallokoordinaatistossa, jossa kahden pisteen välinen matka kulmaa muuttamalla piirtää kaaren, kun vastaavasti suorakulmaisessa koordinaatistossa kahden pisteen välinen matka on suora viiva.

Myös liike tietyllä matkalla pystytään tekemään tasaisemmin XYZ-ohjelmoinnilla. Eräässä näytelmässä liikkuvan heittimen kiila mallintaa kuvitteellisen henkilön seurantaheitintä. Heitin aloittaa läheltä katsomoa ja liikkuu lopulta pisteeseen, joka on melko suoraan sen alapuolella. Pelkästään tilt-arvoa muuttamalla heitin ei liiku lähtökohtaisesti tasaista nopeutta alkupisteestä loppupisteeseen, sillä alkuvaiheessa asteen muutos kulmassa on huomattavasti pidempi matka lattiassa kuin lähellä loppua. Liikkeen saaminen sellaiseksi, että kiila liikkuu lattiassa tasaista nopeutta ohjelmoimalla tilt-arvoilla, on huomattavan haastavaa. XYZ-ohjelmoinnilla saadaan luotua helposti sama liike niin, että nopeus on tasainen, koska ohjelmoidaan jo lähtökohtaisesti heittimen kulkemaa matkaa lattiassa.

XYZ-ohjelmoinnin käyttöönottoon toki vaaditaan, että koordinaatisto saadaan riittävällä tarkkuudella vastaamaan oikeaa ympäristöä. Esimerkiksi heitinten todelliset paikat on sijoitettava valo-ohjaimeen tarkasti.

3.2.1 Suorakulmaisen koordinaatiston muuttaminen pallokoordinaatistoon

Jotta suorakulmaista koordinaatistoa voidaan käyttää liikkuvien valojen ohjelmointia varten, pitää tehdä muutos suorakulmaisesta pallokoordinaatistoon heittämiä varten. Tämä muutos voidaan tehdä joko valo-ohjaimesta tai muussa järjestelmässä ennen liikkuvia

heittämiä. Esimerkiksi suositusta GrandMA2-valo-ohjaimesta löytyy tuki XYZ-ohjelmoinnille.

XYZ-ohjelmoinnissa tiedetään siis halutun pisteen sijainti X-, Y- ja Z-akselilla. Lisäksi tiedossa on heittimen sijainti samassa koordinaatistossa. Pallokoordinaatistoa varten tarvitaan tieto atsimuutti- ja korotuskulmasta. Säteellä ei valo-ohjelmoinnin kannalta ole väliä, sillä heittimen kiila jatkaa matkaansa, kunnes törmää johonkin pintaan, eikä sen sädettä voida siten kontrolloida. Atsimuuttikulmaa merkitään symbolilla φ ja korotuskulmaa θ .

Korotuskulma saadaan kaavalla:

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$$

Ja atsimuuttikulma kaavalla:

$$\varphi = \arctan \frac{x}{y}$$

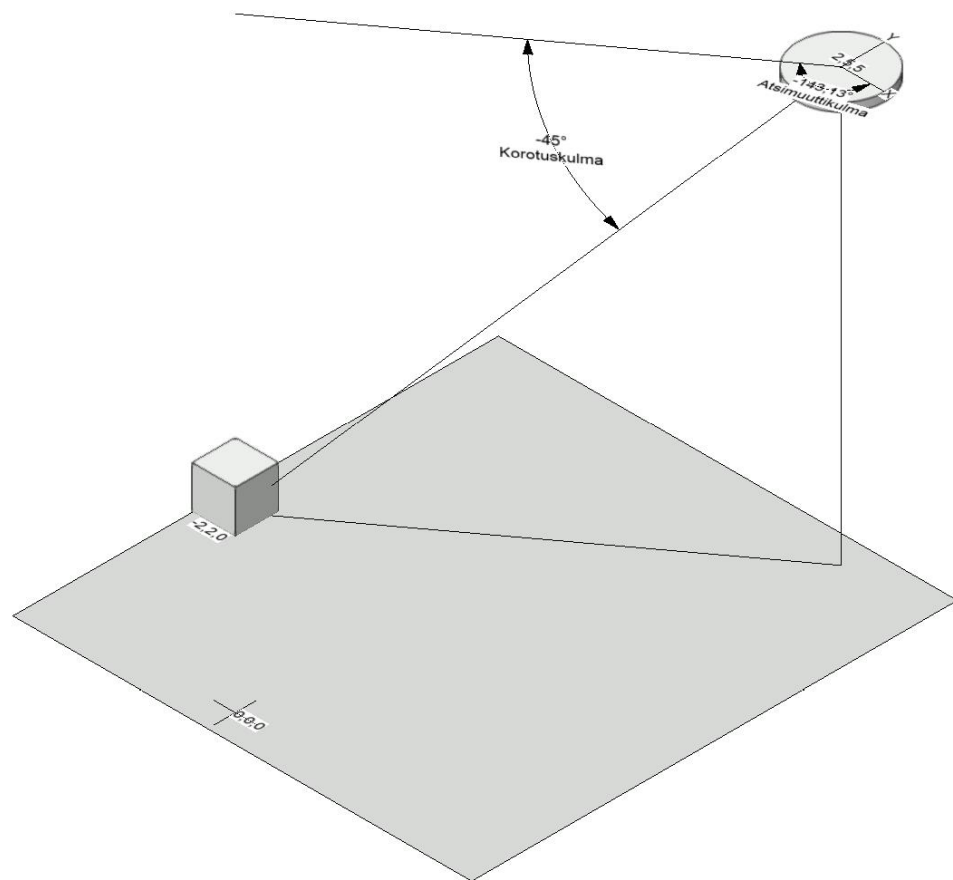
Jos esimerkiksi otetaan heitin, joka sijaitsee pisteessä (2;5;5) ja halutaan se osoittamaan pisteeseen (-2; 2; 0), lasketaan ensin halutun sijainnin ja heittimen sijainnin erotus (-4;-3;-5). Erotuksella voidaan ajatella siirrettävän pallokoordinaatiston origo heittimen kohdalle.

Tämän jälkeen voidaan laskea heittimen korotuskulma kaavalla:

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{-4^2 + (-3)^2}}{5} = -45 \text{ astetta}$$

Sekä atsimuuttikulma kaavalla:

$$\varphi = \arctan \frac{-4}{-3} = -143,13 \text{ astetta}$$



Kuvio 3. Edellisen esimerkin koordinaattimuunnos havainnollistettuna

Todellisuudessa heittimien pan-kulma määritellään useimmiten niin, että nollakohta on Y-akselin mukaan eikä X-akselin kuten esimerkissäni. Tämä muunnos käy helposti lisäämällä atsimuuttikulmaan 90 astetta. Myös tilt-kulman nollakohta on lähes poikkeuksetta suoraan alaspäin, ja lisäksi se kasvaa useimmiten kohti takaseinää toisin kuin edellisessä esimerkissä. Voimme korjata asian käyttämällä korotuskulman käänteislukua ja vähentämällä siitä 90 astetta.

$$Pan = -143,13^\circ + 90^\circ = -53,13^\circ$$

$$Tilt = -1 * -45^\circ - 90^\circ = -45^\circ$$

Tämän jälkeen asteluvut on muutettava vielä DMX512-arvoiksi heitintä varten. Tämä onnistuu, jos tiedetään, montako astetta heitin liikkuu pan- ja tilt-suuntiin sekä millä arvoilla

se saa minkäkin kulman. Esimerkiksi yleinen pan-liikerata heittimillä on 270 astetta vastapäivään ja 270 myötäpäivään eli yhteensä 540 astetta. Tilt-arvoilla vastaava on usein 115 astetta kumpaankin suuntaan eli yhteensä 230 astetta. DMX512-protokollassa kanavat ovat 8-bittisiä eli niillä on 256 mahdollista arvoa (0-255). Tästä voimme laskea yhden asteen per DMX-arvo. Tämän jälkeen kerromme tällä luvulla pan-kulman, johon lisätty 270 astetta. Negatiiviset asteet pitää lisätä, sillä DMX-arvolla 0 pan on negatiivisessa ääriasennossa.

$$PanDMX = (PanKulma + Negatiiviset\ asteet) * \frac{PanAsteet}{DMXarvot}$$

$$PanDMX = (-53,13^\circ + 270^\circ) * \frac{570^\circ}{256} = 103$$

$$TiltDMX = (-45^\circ + 115^\circ) * \frac{230^\circ}{256} = 78$$

Usein pan- ja tilt-arvoille halutaan suurempi tarkkuus kuin minkä yksi DMX-kanava mahdollistaa, jolloin käytetään kahta kanavaa. Tällöin puhutaan 16-bittisistä arvoista (8 bittiä + 8 bittiä = 16 bittiä). Tällöin mahdollisia arvoja on 65536. Ensimmäinen kanava on niin kutsuttu coarse-kanava, joka toimii kuten 8bit ohjauksessakin. Toinen fine-kanava taas ilmoittaa arvoja ensimmäisen kanavan kahden arvon välissä. Coarse-kanava saadaan muuttamalla hieman edellistä kaavaa niin, että asteen vastaavuutta DMX-arvojen suhteen muutetaan vastaamaan 16bittiä. 16-bittinen arvo saadaan jaettua kahteen 8-bittiseen kanavaan jakamalla se 256:lla. Coarse-arvo on osamäärä ja fine-arvo on jakojäännös.

$$PanDMX = \frac{(-53,13^\circ + 270^\circ) * \frac{570^\circ}{65536}}{256} = 102 \text{ mod } 208$$

$$PanDMXCoarse = 102$$

$$PanDMXFine = 208$$

$$TiltDMX = \frac{(-45^\circ + 115^\circ) * \frac{230^\circ}{65536}}{256} = 77 \text{ mod } 234$$

$$TiltDMXCoarse = 77$$

$TiltDMXFine = 234$

3.3 Kolmiulotteinen video-ohjelmointi

3D-työskentely on lisääntynyt myös video-ohjelmoinnissa. Osa laitteistoista mahdollistaa virtuaalisessa 3D-ympäristössä työskentelyn. Tähän ympäristöön voidaan tuoda mallit tilasta ja mallintaa videopinnat. Näin videosuunnittelija pystyy suunnittelemaan ja toteuttamaan teoksen mahdollisimman pitkälle itse ohjelmassa. Näin itse tilassa tarvitsee mahdollisesti tehdä vain hienosäätöjä. (Claiborne 2014, 173–176.)

Esimerkiksi Disguise-videoserveri voi laskea ja toteuttaa usealla videoprojektorilla samaan pintaan tehdyille projisoinnille reunanyhdistämiset (Edge blend) (Claiborne 2014, 118). Järjestelmään voidaan myös ohjelmoida mahdolliset projisointipintojen liikkeet ja mukauttaa tykkien kuvamateriaali niiden mukaan.

4 Sisätilapaikannus

4.1 Sisätilapaikannus yleisesti

Paikannus on jonkin asian sijainnin määrittämistä. Paikannus voidaan jaotella sisätila- ja ulkotilapaikannukseen. Sisätilapaikannus tapahtuu rakennusten sisällä; ulkotilapaikannus rakennusten ulkopuolella. Monet ulkotilapaikannukseen käytettävät teknologiat kuten satelliitteihin perustuva GNSS (Global Navigational Satellite System) eivät sovellu sisätiloissa käytettäväksi, sillä satelliittien radiosignaalit eivät usein läpäise rakennusten rakenteita. Tunnetuin satelliittipaikannusjärjestelmä on GPS. (Alarifi, Al-Salman, Alsaleh, Alnafessah, Al-Hadrami, Al-Ammar ja Al-Khalifa 2016, 1–2.)

Sisätilapaikannuksen teknologioita on useita ja ne eroavat toisistaan tarkkuudeltaan, hinnaltaan, skaalautuvuuden, tietoturvan ja toimintavarmuuden suhteen (Alafiri ym. 2016, 1–2). Alafiri ym. (2016, 1–2) mainitsevat viisi eri laatutekijää, joilla järjestelmää voidaan mitata: järjestelmän sisäinen ja ulkoinen tarkkuus, kattavuus, sijainnin päivittämisen viive, rakennuksen infrastruktuurin vaikutus paikannukseen sekä satunnaiset virheet kuten signaalin häiriöt tai heijastukset. Sisätilapaikannuksella on käyttötarkoituksia usealla

eri alueella. Järjestelmän pitäisikin vastata käyttötarkoituksen vaatimuksia. (Alafiri ym. (2016, 1–2.)

Esitys- ja teatteritekniikassa sisätilapaikannusta käytetään usein esiintyjän paikantamiseen. Paikannettava asia voi olla myös jokin objekti. Paikannusta käytetään usein äänen, valon tai videon ohjaukseen. Tärkeitä kriteereitä sisätilapaikannukselle edellä mainituissa käyttötarkoituksissa on suhteellisen hyvä tarkkuus ja päivitysnopeus, järjestelmän vakaus ja kyky sietää erilaisia häiriötekijöitä.

Toisin kuin GNSS-paikannukselle, jonka tulokset ovat maapallon leveys- ja pituuspiireinä, sisätilapaikannusjärjestelmälle on valittava järjestelmän asteikko ja nollakohdat. Tyypillisesti käytetään suorakulmaista koordinaatistoa. Akselien nollakohdille on tiettyjä käytäntöjä, joita olen kuvannut luvussa 2.2.2.

4.2 Sisätilapaikannuksen käyttömahdollisuudet esitystekniikassa

Valon osalta sisätilapaikannuksen helpoin ja yleisin käyttötarkoitus on kohteen seuraaminen liikkuvalla heittimellä. Esimerkiksi luvussa 3.4 esitellyssä GrandMA2 XYZ-ohjelmoinnilla tämä tapahtuu liittämällä kohteen paikannusdata Stage Marker -objektiin, joka voidaan asettaa kohteeksi heittimelle. Myös zoom- ja iris-arvoja voidaan ohjata paikannusdatalla, jotta kiilaa voidaan pienentää, kun kohde liikkuu kauemmas heitimestä.

On myös mahdollista käynnistää tietty valotilanne, kun esiintyjä saapuu tietylle alueelle. Esimerkiksi voidaan sytyttää kulloinkin esiintyjän kohdalla oleva etuvaloheitin ja järjestelmä automaattisesti nostaa ja laskee heittimien tasoja sen mukaan, minne esiintyjä liikkuu.

Luvussa 3.3 esitelyihin objektipohjaisen äänen järjestelmiin on myös mahdollista liittää mukaan sisätilapaikannustietoa. Tällöin ääniobjektin sijainniksi voidaan määrittää sijaintidata. Näin haluttu ääni seuraa paikanninta. Yleinen käyttötarkoitus on esiintyjän mikrofonin lokalisointi esiintyjän sijainnin mukaan.

Videon osalta voidaan sisätilapaikannusta käyttää joko pintojen tai sisällön ohjaamiseen. Esimerkiksi näyttämöllä liikkuvaa projisointipintaa varten voidaan automatisoida videojärjestelmän pinta ottamaan sisätilapaikannustiedot projisointipinnalta, jolloin kuva osuu projisointipintaan liikkeessään.

Myös pinnan edessä tai sen päällä tapahtuvaan liikkeeseen voidaan reagoida. Muun muassa esiintyjän liike voi ohjata jonkin sisällön sijaintia projisointipinnassa. Jos esimerkiksi projisointipintana toimii näyttämön lattia, voidaan esiintyjän kohdalle ajaa videosisältöä, joka seuraa esiintyjää.

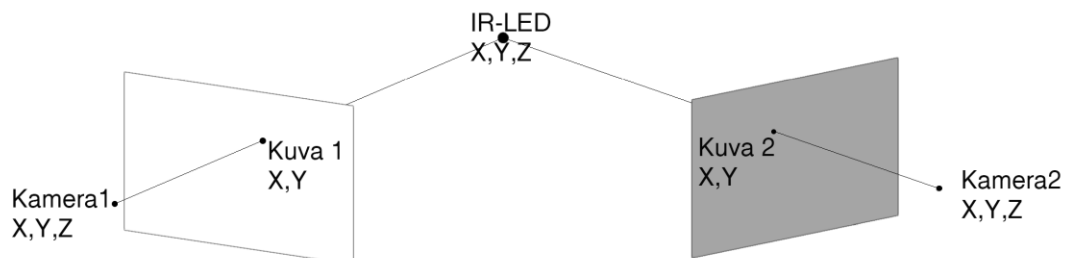
Esityksissä, joissa käytetään livekameroita, voidaan sisätilapaikannusta käyttää kameroiden automaattiseen kohdentamiseen (Parv 2018).

4.3 Sisätilapaikannuksen teknologiat

4.3.1 Infrapuna

Infrapuna käyttää valon infrapunataajuuksia paikantamiseen (Alafiri ym. 2016, 9).

Infrapunapaikannusta varten tarvitaan lähetin, jossa on yksi tai useampi infrapunaledi. Lisäksi tarvitaan infrapunakameroita, joilla on suora näköyhteys lähettimeen. 3D-paikannusta varten vaaditaan yleensä vähintään kaksi kameraa, jotka näkevät ledin (Do & Yoo 2016, 22). Kameroiden kuvien X ja Y koordinaateista voidaan laskea sijainti, jos kameroiden sijainnit ovat tiedossa. Kameroiden sijainnit voidaan määrittää käsin tai käyttää erillistä kalibrointisauvaa. Kalibrointisauvassa on useita ledejä tunnetulla etäisyydellä toisistaan, joiden perusteella voidaan kalibroida järjestelmä. Kameroiden linssit aiheuttavat aina myös jonkin verran vääristymää, etenkin laajakulmaoptiikoilla, jotka ovat hyödyllisiä paikannuskäytössä, sillä ne näkevät ledit suuremmalta alueelta. Järjestelmän on hyvä ottaa huomioon linssinvääristymät laskennassa. (Do & Yoo 2016, 31–32.)



Kuvio 4. Kameroihin perustuvan IR-järjestelmän toiminta.

Infrapunapaikannuksen huonona puolena on suoran näköyhteyden vaatimus kameroihin (Alafiri ym. 2016, 11). Jos kameroita pystytään liittämään järjestelmään enemmän kuin paikannuksen vähimmillään tarvitaan, saadaan pääsääntöisesti parempi paikannustarkkuus ja myös katvealueet ovat helpommin vältettävissä.

Toisena haasteena ovat muut infrapunälähteet tilassa, jotka saattavat häiritä järjestelmää tai estää sen toiminnan kokonaan. Yleensä lähettimet vilkuttavat lediä tietyllä taajuudella, jolloin kamerat tunnistavat lähtetimen muista infrapunälähteistä. Kuitenkin muut kirkkaat infrapunälähteet voivat estää kameroita näkemästä lähetintä. Auringonvalosta merkittävä osa on infrapunavaloa, joten järjestelmien toiminta kirkkaassa auringonpaisteessa tai tilassa, jonne tulee valoa esimerkiksi ikkunoista, on huonompi kuin täysin pimennetyssä tilassa. Lisäksi halogeeni- ja hehkulampuista syntyy paljon infrapunaa. Ledien ja purkauslamppujen kanssa ei pääsääntöisesti esiinny ongelmia. (Alafiri ym. 2016, 11.)

Järjestelmän kykyä sietää muita infrapunälähteitä ja etäisyyttä lähtetimen ja kameroiden välillä voidaan kasvattaa lisäämällä lähtetimen ledin tai ledien tehoa, mutta tällöin kasvaa myös virrankulutus. Akku- tai paristokäyttöisissä lähtetimissä tämä tarkoittaa myös käyttöajan lyhentymistä.

Infrapunajärjestelmien hyvänä puolena on yleensä suuri tarkkuus ja suuri päivitystajuuus. Lisäksi lähettimiä voidaan usein lisätä järjestelmään ilman, että suorituskyky heikkenee merkittävästi.

Esimerkiksi Cast Groupin Blacktrax-järjestelmä perustuu infrapunapaikannukseen. Järjestelmä pystyy paikantamaan 100 Hz virkistystaajuudella 85 lähetintä tai 255 yksittäistä lediä. Järjestelmälle luvataan 6 mm tarkkuutta 15 metrin matkalta. (Blacktrax 2020.)

Toinen infrapunaledeihin ja kameroihin perustuva järjestelmä on VYV:n Albion järjestelmä. Albion valmistaa itse Copernics-sarjan infrapunälähettemiä, joita voidaan seurata Optitrack-yhtiön kameroilla. Järjestelmä on käytössä Suomen kansallisoopperassa. (VYV 2020a.; VYV 2020b.)

4.3.2 Ultra-wideband

Ultra-wideband (UWB) perustuu ajallisesti hyvin lyhyisiin pulsseihin, joita lähetetään laajalla taajuuskaistalla (FCC määritelmä: yli 500 MHz tai yli 20 % keskitaajuudesta). Tämä mahdollistaa UWB-laitteiden lähettää paljon dataa pienellä virrankulutuksella. (Alafiri ym. 2016, 8.)

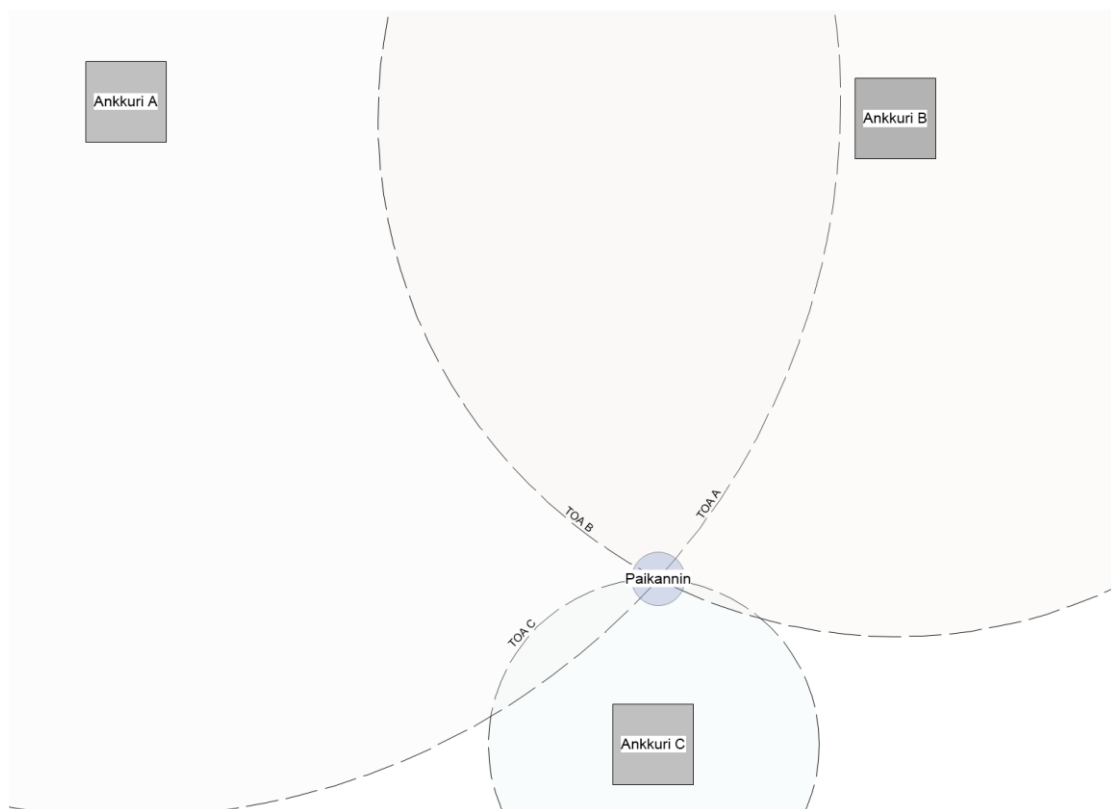
Lyhyet pulssit isolla kaistalla vähentävät myös langattomassa tiedonsiirrossa esiintyvää ilmiötä, jossa signaali saapuu useaa reittiä vastaanottajalle (multipath interference). UWB-teknologia ei tarvitse suoraa näköyhteyttä, se pystyy läpäisemään jossain määrin seiniä ja sietää hyvin muita langattomia viestintälaitteita ja kuluttaa vähän virtaa. UWB-teknologiaa voidaan käyttää tiedonsiirtoon laitteiden välillä ja lisäksi paikantamiseen. (Alafiri ym. 2016, 12.)

UWB-järjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta ankkurista ja paikantimesta. Ankkurit ovat järjestelmän osia, joiden sijainti on tiedossa ja paikannin osa, jonka sijaintia halutaan seurata. Ankkureita tarvitaan yleensä vähintään kolme. UWB -paikantaminen perustuu pääasiassa viestin kuljettamiseen kuluvan ajan mittaamiseen. Voidaan joko mitata saapumisaikaa (time of arrival, TOA) tai saapumisaikojen eroa (time difference of arrival TDOA). Radioaallot kulkevat valonnopeudella, joten aikaerot ovat hyvin pieniä ja kellojen on oltava erittäin tarkkoja. Valo nimittäin liikkuu nanosekunnissa noin 30 senttimetriä. (Pozyx a.)

UWB-järjestelmien tarkkuus ja muut tiedot vaihtelevat laajasti. Parhaimmillaan järjestelmillä päästään millimetrien tarkkuuteen (Alafiri ym. 2016, 12). Tässä opinnäytetyössä tarkasteltujen järjestelmien tarkkuus on kaikissa noin 10 cm, joka vaikuttaa olevan varsin tyypillinen tarkkuus yli kymmenen metrin matkoilla (Out Board; Zacktrack). Järjestelmien tarkkuuteen vaikuttaa kellontahdistuksen tarkkuus sekä ankkurien sijoittelu ja määrä (Ahmed & Zeng, 2017, 636).

UWB paikannukseen perustuvia järjestelmiä tapahtuma- ja teatterikäyttöön on muun muassa Out Board TiMax TrackerD4 -järjestelmä ja Zacktrack. Zacktrack lupaa alle 10 cm tarkkuutta ja 20 Hz paivitysnopeutta (Zacktrack). Timaxille luvataan 10 cm tarkkuutta maksimissaan 80 metrin etäisyydellä (Out Board).

TOA perustuu signaalin lähettimiltä vastaanottimelle kuluvan ajan mittaamiseen. Useimmiten lähettimenä toimivat ankkurit ja vastaanottimena paikannin. Lähettimeltä vastaanottimelle kuluvasta ajasta voidaan laskea etäisyys, kun tiedetään signaalin nopeus. Etäisyyttä vastaanottimen ympärille piirretyn ympyrän säteenä. Kun vastaanottimia on kolme tai enemmän voidaan sijainti paikantaa ympyröiden leikkauspisteeseen. Tämä on havainnollistettu kuviossa 5. (Alafiri ym 2016, 18-19.)



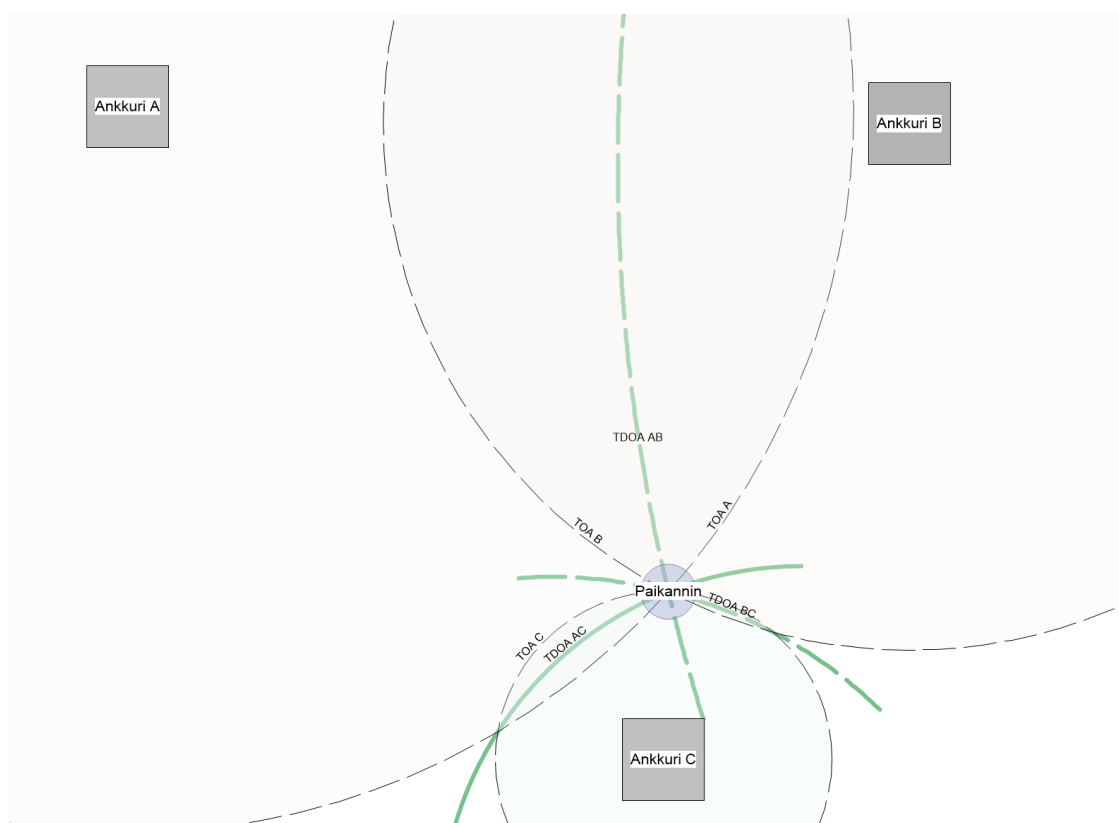
Kuvio 5. TOA-paikannuksen toiminta

TOA-paikannuksen hankaluutena on laitteiden tahdistus. Jotta voidaan laskea, kuinka kauan viestin saapumiseen kului, pitää tietää, koska se lähetettiin. Tähän on erilaisia ratkaisuja, kuten kellonajan lähetys viestinä. TOA-paikannus vaatiikin sekä lähettimien että vastaanottimien tahdistamista.

Two way ranging (TWR) eli kaksisuuntainen etäisyyssmittaus muistuttaa TOA-paikannusta, mutta siinä laitteiden tahdistuksen vaatimus on poistettu. TWR-paikannuksessa viestin vastaanottava laite lähettää viestin takaisin lähettäjälle, jolloin voidaan mitata edestakaiseen matkaan kulunut aika. Esimerkiksi Pozyx-paikannusjärjestelmässä paikannin lähettää viestit yksitellen kaikille ankkureille ja laskee ankkureilta saapuvan

paluuviestin perusteella sijaintinsa. TWR-paikannuksen huonona puolena on, että edestakaiseen viestintään menee enemmän kaistaa ja aikaa. (Pozyx b.)

Time difference of arrival (TDOA) sijainti lasketaan saapumisaikojen erosta. TDOA-paikannuksessa sijainti lasketaan ankkureille saapuvan viestin aikojen eroista. Kaikkien ankkureiden on oltava tahdistettu keskenään. Hyvänä puolena on, että paikantimen ei tarvitse olla tahdistettu ankkureiden kanssa, sillä sijainti lasketaan saapumisaikojen erosta eikä matkaan kuluneesta ajasta. Paikantimen tarvitsee siis vain lähettää viesti tietyin aikavälein. Tämä vähentää paikantimessa tapahtuvaa laskentaa ja kaistan kuluusta, jolloin myös sen virrankulutus vähenee. Edellä kuvatulla metodilla paikannin ei tiedä itse omaa sijaintiaan, mutta tämä ei ole ongelma pääsääntöisesti esitys- ja teatteriteknisissä sovelluksissa. (Alafiri ym. 2016, 20; Pozyx b.)



Kuvio 6. TDOA-algoritmin toiminta

EU:n alueella UWB:n käyttöön on säännökset sallituista taajuuksista ja lähetystehoista (Decawave 2015). Suomessa UWB-säännöksistä vastaa Liikenne- ja viestintävirasto. Sallitut taajuuksat ovat 3,1–9 GHz välillä. Kiinteästi asennettuja laitteita saa käyttää vain sisätiloissa sekä ajoneuvoissa ja raideliikenteessä. Suurin lähetysteho on

-41,3 dBm/MHz EIRP. Taajuusalueen sisällä on jotain lainsäädännöllisiä poikkeuksia, jotka liittyvät vaadittaviin häiriönlievennystekniikoihin sekä tehonsäätöihin. (Määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä 15AO/2019M, §32.)

UWB yleistyy myös kuluttajalaitteissa. Uusin iPhone 11 sisältää UWB-piirin (Shankland 2019). Standardeja ja kehitystyötä tekee tällä hetkellä kaksi eri laitevalmistajien yhteensiiittymää: UWB alliance ja FiRa consortium (Shankland 2019).

4.3.3 Muut paikannusteknologiat

Sisätilapaikannusta on myös mahdollista tehdä saapuneen signaalin voimakkuuden perusteella (Received signal strenght, RSS). Tällöin tukiasemien sijainti on tiedossa ja tukiasemilta saapuvien signaalien voimakkuudesta voidaan arvioida etäisyyttä. RSS-paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat signaalin voimakkuuteen vaikuttavat esteet ja heijastukset, eikä sillä päästä kovin hyvään tarkkuuteen. Wifi- ja Bluetooth-paikannukset perustuvat saapuneen signaalin voimakkuuteen. (Alafiri ym. 2016, 21–22.)

Wifi-paikannuksen tarkkuus vaihtelee 3–30 metrin välillä (Alafiri ym. 2016, 9). Bluetooth-järjestelmien tarkkuus vaihtelee 30 senttimetrstä metreihin (Hameed & Ahmed 2018, 3).

Bluetooth 5.1 tukee RSS-paikannuksen lisäksi myös signaalin kulman havaitsemista, minkä luvataan lisäävään paikannustarkkuutta huomattavasti (Leonard, 2019).

5 Protokollat sijaintitiedon siirtämiseen

5.1 PosiStageNet

PosiStageNet (PSN) on MA Lightingin ja VYV:n julkaisema avoin ja ilmainen protokolla sijaintitiedon siirtämiseen. Protokollassa palvelin lähettää UDP-paketteja multicast-osoitteeseen 236.10.10.10 porttiin 56565. Asiakkaat saavat näistä paketeista haluamansa sijaintitiedot. Oletuslähetystaajuus on 60 Hz mutta tätä on mahdollista kasvattaa. (PosiStageNet 2016, 1–2.)

PSN:iä tukee muutama valmistaja. Tuki löytyy esimerkiksi Grandma2-valopöydästä, VYV:n Albion-paikannusjärjestelmästä ja Hippotizer-mediaserveristä (PosiStageNet 2019).

5.2 Real Time Tracking Protocol (RTTrP)

Real Time Tracking Protocol (RTTrP) on Cast Softwaren kehittämä avoin verkkoprotokollapaketti sijaintitiedon siirtämiseen ja valo-ohjauksen haltuunottoon. Se koostuu RTTrPM- ja RTTrPL-protokollista. RTTrPL-protokollaa käytetään valopöydän ohjausdatan ylikirjoittamiseen silloin, kun paikannusjärjestelmä on aktiivinen. Tällöin paikannusjärjestelmä ylikirjoittaa haluttujen heittimien paikannusta seuraavat arvot (useimmiten pan ja tilt). RTTrPM taas on protokolla sijaintitiedon siirtämiseen järjestelmien välillä. Molempia tukee usea laitevalmistaja, sillä se on suositeltu tapa saada sijaintidataa Cast Softwaren Blacktrax-paikannusjärjestelmästä. (RTTrP.)

5.3 Open Sound Control (OSC)

Open Sound Control (OSC) on Adrian Freedin ja Matt Wrightin UC Berkleyn Center for New Music and Audio Technologies (CNMAT) tutkimuskeskuksessa kehitettävä protokolla eri äänilaitteiden ohjaamiseen verkon yli. OSC on vapaasti käytettävissä eri tarkoituksiin ja sen käyttö onkin levinnyt laajemmalle kuin pelkästään äänilaitteiden ohjaukseen. (Schmeder, Freed & Wessel, 2010, 1–2.)

OSC-viesti koostuu hierarkkisesta osoitteesta, jotka erotetaan kauttaviivalla, datatyypin tunnisteesta, datasta sekä vapaaehtoisesta aikapaketista. Osoite voi olla esimerkiksi /position/x. Data voi sisältää kokonais- tai liukuluvun, merkkijonon, totuusarvon tai binääripaketin. Useita viestejä voidaan liittää yhteen paketiksi, jolloin ne toimitaan ja käsitellään samanaikaisesti. (Huntington 2017, 321–324.)

Koska OSC-toimii verkon yli, on sen käytettävissä oleva kaista huomattavasti suurempi kuin MIDI:n tai DMX512:n. Erillistä laitteistoa ei myöskään tarvita ja kaapelointi on helpompaa ja halvempaa.

5.4 MQ Telemetry Transport (MQTT)

MQ Telemetry Transport (MQTT) on kevyt, avoin ja yksinkertainen protokolla tietojen siirtoon. Se on suunniteltu lähettämään pieniä paketteja vähällä kuormituksella laitteille. Tämän takia se onkin yleinen IoT- (Internet of Things) ja M2M (Machine to Machine) -käytössä. MQTT osoitteet, joita kutsutaan aiheiksi (topic), ovat OSC:n tapaan

hierarkkiset ja erotettu kauttaviivalla. MQTT tarvitsee välittäjän, joka pitää kirjaa eri aiheista. Asiakkaat voivat tilata aiheen, jolloin ne saavat siihen liittyvät viestit ja voivat julkaista viestejä. (OASIS 2014, 1-2.)

MQTT tukee kolmea eri QoS (Quality of Service) -tyyppiä. Viesti välitetään joko kerran ilman varmistusta, vähintään kerran ja vastaanottajalta vaaditaan varmistus viestin saapumisesta tai viesti välitetään kerran neljävaiheisen kättelyprosessin jälkeen (Oasis 2014, 1–2). Paikannukseen vaaditaan yleensä reaaliaikaisuutta, jolloin viestin saapumisen varmistaminen ei ole järkevää.

6 Käytännön projekti

6.1 Lähtökohta

Projektissa tutkittiin kolmiulotteisen paikannusjärjestelmän liittämistä esitys- ja teatteritekniikan järjestelmiin. Tuotteeksi valikoitui belgialainen Pozyx-järjestelmä. Pozyx perustuu UWB-teknologiaan ja lupaa järjestelmälle 10 senttimetrin tarkkuuta 20x20 metrin alueella. Perusteena edellä mainitun tuotteen valinnalle oli sen halvahko hinta, UWB-teknologian käyttö sekä helposti saatavilla olevat ohjeet tietojen saamiseksi ulos järjestelmästä.

Esimerkkijärjestelmäksi on valittu GrandMA2 valo-ohjauksen osalta, sillä siinä on valmiina tuki XYZ-ohjelmoinnille, mikä mahdollistaa koordinaattien hyödyntämisen itse valo-ohjaimessa.

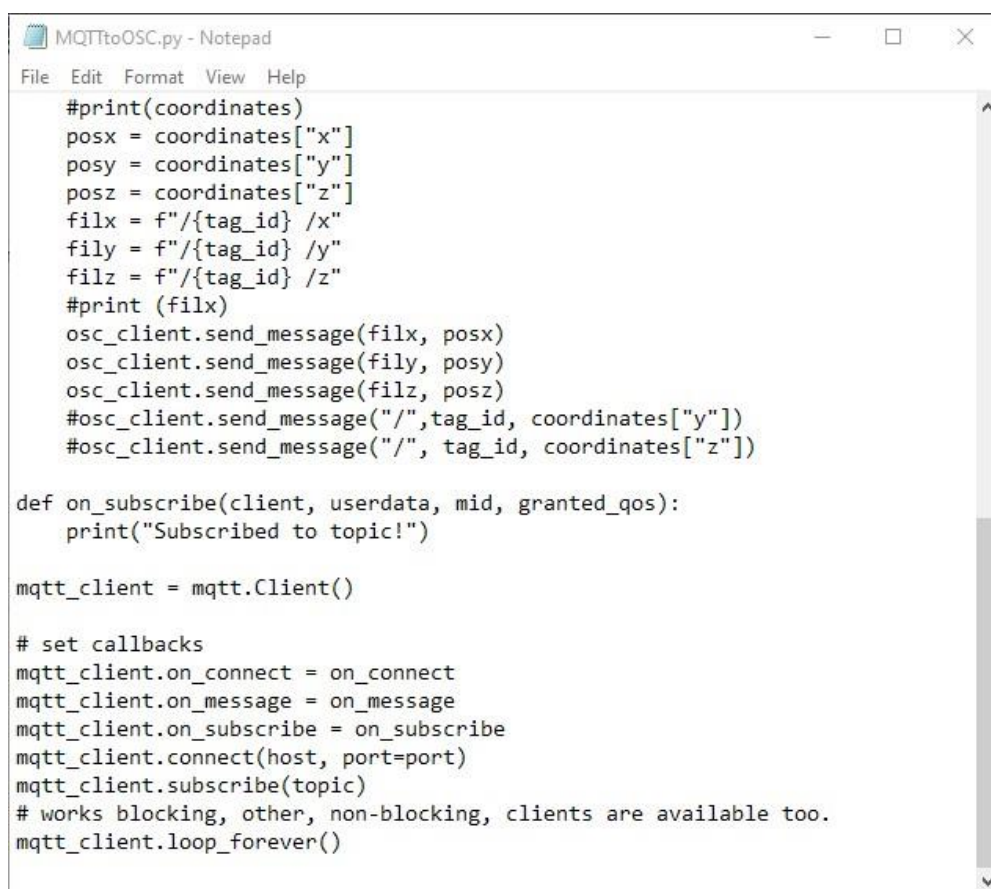
6.2 Pozyx

Projektissa käytettiin Pozyx Creator -järjestelmää. Järjestelmä lupaa noin 10 cm tarkkuutta 20x20 m alueella. Järjestelmä koostuu ankkureista ja tageista. Päivitystaajuus on maksimissaan 125 Hz neljällä ankkurilla ja yhdellä tagilla, joka on kiinni koneessa. Jokainen järjestelmään lisätty tagi tai ankkuri puolittaa päivitystaajuuden. Järjestelmä käyttää kappaleessa 4.3.2 kuvattua Two Way Ranging -algoritmiä. Yksi tagi liitetään kiinni tietokoneeseen ja toimii mastertagina. Kaikki muut tagit kommunikoivat tämän tagin kautta, mikä lisää järjestelmän viivettä, kuluttaa kaistaa eikä järjestelmä sen vuoksi skaalaudu kovin hyvin. (Pozyx a.)

Saatavilla on nykyään myös Pozyx Enterprise -järjestelmä, joka tukee kehittyneempää TWR+-algoritmiä sekä TDOA-algoritmia. Enterprise-järjestelmässä ankkurit kytketään toisiinsa lähiverkon avulla, jota ne voivat käyttää tahdistamiseen. Tämä mahdollistaa huomattavasti suuremman päivitystaajuuden sekä vähentää tagien virrankulutusta. (Pozyx a).

6.3 Projektin toiminta

Pozyx-järjestelmästä koordinaattitiedot saadaan ulos MQTT-protokollalla. Kahden valmiin esimerkin pohjalta toteutettiin Python-ohjelma, joka tilaa MQTT-aiheen ja vastaanottaa sijaintitiedot. Sen jälkeen se lähettää sijaintitiedot edelleen OSC-viesteinä Max MSP 8 -ohjelmaan (myöhemmin pelkkä Max). Python on suosittu ohjelmointikieli, johon löytyy valmiina lukuisia eri kirjastoja ja esimerkkejä. Lisäksi sen syntaksi on selkeä ja looginen, eikä sitä tarvitse kääntää erikseen ennen suoritusta.



```
MQTTtoOSC.py - Notepad
File Edit Format View Help

#print(coordinates)
posx = coordinates["x"]
posy = coordinates["y"]
posz = coordinates["z"]
filx = f"/{tag_id} /x"
fily = f"/{tag_id} /y"
filz = f"/{tag_id} /z"
#print (filx)
osc_client.send_message(filx, posx)
osc_client.send_message(fily, posy)
osc_client.send_message(filz, posz)
#osc_client.send_message("/",tag_id, coordinates["y"])
#osc_client.send_message("/", tag_id, coordinates["z"])

def on_subscribe(client, userdata, mid, granted_qos):
    print("Subscribed to topic!")

mqtt_client = mqtt.Client()

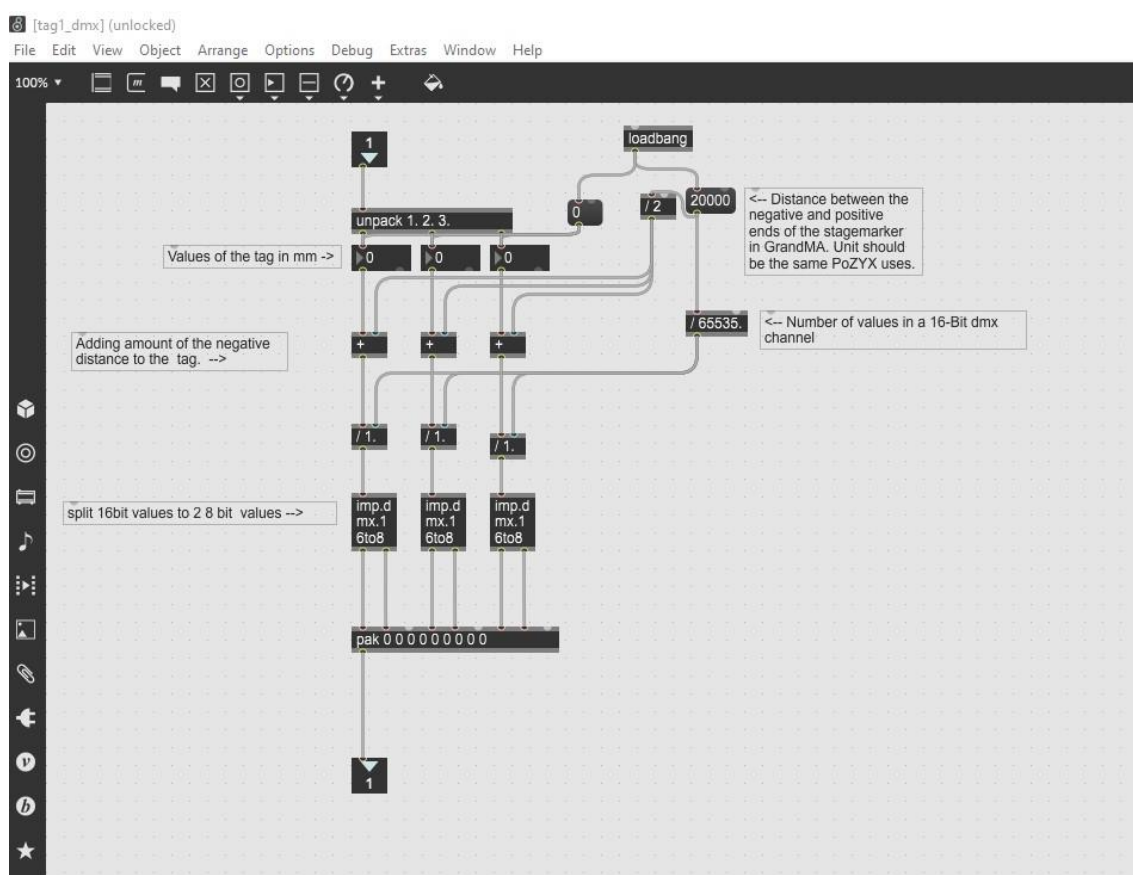
# set callbacks
mqtt_client.on_connect = on_connect
mqtt_client.on_message = on_message
mqtt_client.on_subscribe = on_subscribe
mqtt_client.connect(host, port=port)
mqtt_client.subscribe(topic)
# works blocking, other, non-blocking, clients are available too.
mqtt_client.loop_forever()
```

Kuvio 7. Osa Python-ohjelmasta Windowsin tekstieditorissa.

Alkuperäisenä suunnitelmana oli myös ohjelmoida C#-ohjelma, joka ottaisi koordinaatit vastaan ja lähettäisi ne edelleen PSN-protokollalla. Tähänkin löytyi melko valmiit esimerkit ja kirjastot, mutta tämä jäi toteuttamatta projektin puitteissa, sillä C#-ohjelmointikieli ei ollut ennestään niin tuttu ja siihen liittyvien ohjelmointiympäristöjen haltuunotto tuotti haasteita.

Max on visuaalinen ohjelmointikieli, jota käytetään etenkin erilaisten ääni- ja videoprojektien tekoon. Sillä on nopea työstää ohjelmia ja diagnosointi on helppoa. Lisäksi sille löytyy melko hyvin kirjastoja ja tuki monelle esitys- ja teatteritekniikan protokollille kuten OSC:ille ja Art-Netille. Sen sijaan olisi voinut käyttää myös esimerkiksi Pythonia, mutta tämä olisi ollut työläämpää ja ohjelmasta olisi tullut vaikeammin muokattava.

Max ottaa vastaan OSC-viestit. OSC-viestien rakenne on /tagin numero/akselin kirjain/koordinaatit. Eli esimerkiksi /26651/x/1000. Max-ohjelma erottelee ensin viestit tagin numeron perusteella oikeisiin reitteihin.



Kuvio 8. Max MSP 8 ja osa ohjelmasta.

Sijaintitiedot lähetetään GrandMA2:lle Art-Netillä, sillä Maxiin ei löydy PSN-kirjastoa eikä GrandMA2 tue OSC:ia. Art-Net ohjaa Stage Marker -objekteja GrandMA2:ssa. Stage Markerit ovat objekteja, joita voidaan sijoittaa 3D-ympäristöön haluttuun kohtaan. Heittimelle voidaan näin antaa komento seurata haluttua Stage Markeria. Jokaiselle Pozyx-tagille luodaan oma Stage Marker, jonka sijainti vastaa tagin sijaintia. Stage Markerin rajoiksi olen antanut jokaiselle akselille 10 metriä negatiiviseen ja positiiviseen suuntaan, eli akselin pituus on yhteensä 20 metriä.



Kuvio 9. GrandMA2-valo-ohjain.

Yksi DMX-kanava on 8-bittinen eli sisältää 256 mahdollista arvoa. Tämä olisi sulavaan paikannukseen liian vähän. Käyttämällä useaa kanavaa voidaan käyttää 16 bittiä tai jopa 32 bittiä per akseli. Projektin käyttää 16 bittiä, jolloin mahdollisten kanavien määrä on 2^{16} eli 65536 arvoa. Kun tämä suhteutetaan 20 metrin akselin pituuteen, saadaan $\frac{20000\text{mm}}{65536} \approx 0,31\text{mm per dmx} - \text{arvo}$, mikä on varsin riittävä tarkkuus.

Maxissa OSC-viestit reititetään akselin perusteella, ja jokaiselle akselille tehdään laskukaava
$$\frac{\text{sijainti(mm)} + \frac{\text{akselin pituus}}{2}}{\frac{\text{akselin pituus}}{\text{dmx-arvojen määrä}}}$$
. Sijaintiin lisätään puolet akselin pituudesta, jotta tuloksesta saadaan positiivinen. DMX-arvot alkavat nolasta, joten sijainnille -10 000 mm

halutaan arvo 0. Tämän jälkeen arvot jaetaan vielä yhden DMX-arvon pituudella millimetreissä, jotta pituusarvot vastaavat DMX-arvoja. Tämän jälkeen 16-bittinen arvo ajetaan vielä valmiin kirjaston läpi, joka muuntaa sen kahdeksi 8-bittiseksi arvoksi.

Max-ohjelmassa on aliohjelma, johon syötetään Stage Markerien DMX-osoitteet, joiden perusteella sijaintiarvot kirjataan matriisiin oikeille paikoilleen. Tämän jälkeen matriisi puretaan ja lähetetään Artnetillä GrandMA2:lle.

6.4 Projektin haasteet ja yhteenveto

Projektin kohdalla oli erinäisiä haasteita, mutta tämä oli pitkälti ennakoitua ottaen huomioon suhteellisen vähäisen ohjelmointikokemuksen. Suuri osa ohjelmoinnista eteni yritysten ja erehdysten kautta eteenpäin, mutta C#:lle löytyvien PosiStageNet- ja MQTT-kirjastojen yhteenliittäminen osoittautui opinnäytetyön aikatauluun nähden liian työlääksi. Myös Pozyx-järjestelmän käyttöönottoon liittyi joitakin yllättäviä haasteita.

Pozyx-järjestelmän suorituskyky jäi muutaman päivän testijaksolla jonkin verran heikommaksi kuin valmistajan ilmoittama. Tarkkuudessa esiintyi melko suurta heittelyä, päivitystaajuus ei yltänyt luvattuihin lukemiin ja yleinen toimintavarmuus jäi toivotusta. Tämä voi johtua testitilanteen olosuhteista tai käytetyn tietokoneen suorituskyvystä. Tarkoituksena on tutkia sitä vielä lisää jatkossa.

Max-ohjelma sekä GrandMA2 toimivat kuten oli odotettavissa, eikä niiden kanssa esiintynyt merkittäviä ongelmia. Heitin seurasi tagia sulavasti, ja ainoat virheet olivat järjestelmän paikannusvirheitä.

Projektin tarkoituksena oli tarkastella, miten paikannusjärjestelmän tietoja voidaan tuoda esitystekniikan järjestelmiin ja hyödyntää niitä. Projektin tulokset olivat varsin onnistuneet, vaikkakin järjestelmiä ja käyttökohteita oli vain yksi.

Projekti myös havainnollisti paikannusjärjestelmään kohdistuvia vaatimuksia esitystekniikassa järjestelmissä. Vaikka järjestelmä parhaimmillaan toimi kohtuullisen tarkasti ja lueteltavasti, se myös saattoi antaa yllättäen useiden metrien mittausvirheitä. Järjestelmän päivitystaajuus jäi jonkin verran ilmoitetusta ja kohosi parhaimmillaan vain hieman

yli 30 Hz kahdella tagilla (yksi tietokoneeseen liitettynä ja yksi langattomasti). Päivitystarkkuutta saisi olla huomattavasti lisää yhden tagin paikantamiseen puhumattakaan useista samanaikaisista tageista.

Suurempi päivitystaajuus nimittäin mahdollistaisi paremmin paikannusdatan tasoittamisen (smoothing). Paikannusdatan tasoittamisessa voidaan laskea erilaisilla algoritmeilla keskiarvoja useista arvoista ja näin tasoittaa dataa, jolloin yksittäisten virhemittausten vaikutus pienenee. Tämä vähentää kuitenkin järjestelmän herkkyyttä ja luo latenssia erityisesti, jos päivitystaajuudessa ei ole riittävästi ylimääräistä haluttuun päivitysnopeuteen nähden. Pozyx-järjestelmän 30 Hz päivitystaajuus vaikutti olevan hyvin lähellä pienintä hyväksyttävää paikannustaajuutta liikkuvan kohteen sulavaan paikantamiseen. Pienemmillä päivitystaajuuksilla paikantaminen oli huomattavasti hyppivämpää ja yksittäiset mittausrvirheet korostuivat kohtuuttomasti. Tasoitusalgoritmeja on toki erilaisia ja niillä voidaan saada hieman toisistaan poikkeavia tuloksia.

Projekti oli siis pääsääntöisesti onnistunut, mutta siinä paljastui myös paikannusjärjestelmältä edellytettävät varsin tiukat laatuvaatimukset esityskäytössä. Projektin kokemusten perusteella en lähtökohtaisesti suosittelisi Pozyx Creator -järjestelmää teatteri- tai muuhun esityskäyttöön, vaikka se muuten onkin lupaava ja kiinnostava tutkimuskohde.

7 Yhteenveto

Olen esitellyt opinnäytetyössäni, miten sijaintipohjaista työskentelyä voidaan käyttää esitys- ja teatteritekniikan alalla niin äänen, valon kuin videonkin kanssa. Sijaintipohjaisella työskentelyllä tarkoitan pääsääntöisesti suorakulmaisen koordinaatiston käyttämistä, joka vastaa melko luontevasti sitä, miten hahmotamme sijaintia tilassa.

Neljännessä luvussa käsittelin sisätilapaikannusta ja eri teknologisia ratkaisuja, joilla sitä voidaan toteuttaa. Ultra-wideband (UWB) -teknologia herättää huomattavaa mielenkiintoa olemassa olevista teknologioista. Sen yleistymistä edesauttaa se, että sitä käytetään huomattavasti myös esitys- ja teatteritekniikan ulkopuolella. Onkin odotettavissa, että se tulee yleistymään, halpenemaan ja sen käyttöönotto helpottuu useilla eri aloilla.

Viidennessä luvussa käsittelin eri protokollia sijaintitiedon siirtämiseen. PosiStageNet (PSN) ja RTTrP vaikuttavat lupaavilta, sillä niitä tukee jo usea valmistaja ja ne ovat avoimia. Nähtäväksi jää, jäävätkö kummatkin käyttöön vai saako toinen niistä määrävän asema. Lisäksi käsittelin Open Sound Control (OSC) ja MQ Telemetry Transport (MQTT) -protokollia, joiden ensisijainen käyttötarkoitus ei ole sijaintitiedon siirtäminen, mutta jotka joustavuutensa puolesta soveltuvat siihen varsin hyvin. Vaikka tällä hetkellä sijaintitiedon siirtämiseen on olemassa useita eri tapoja, mikä saa tilanteen näyttämään käyttäjän kannalta haastavalta, ilahduttavasti kaikki protokollat ovat avoimia ja vapaasti käytettävissä. Mikään ei siis pitäisi estää laite- tai ohjelmistovalmistajaa tukemasta vaikkapa niitä kaikkia halutessaan.

Kuudennessa luvussa kerroin omasta projektistani, jossa käytin Pozyx-paikannusjärjestelmää liikkuvien valonheittimien ohjaukseen. Tarkoituksena oli tutkia konkreettisella tasolla paikannusjärjestelmän lisäämistä sijaintipohjaiseen työskentely-ympäristöön eli GrandMA2 3D-ympäristöön. Pozyx-järjestelmän toimintavarmuus ja tarkkuus jättävät toimimisen varaa ja sen mahdollinen käyttö esitys- ja teatteritekniikan sovellutuksissa on siten varsin rajallista. Yhteensovitus toimii kuitenkin hyvin, joten sikäli projekti oli onnistunut.

Uskon, että sijaintipohjainen työskentely ja sisätilapaikannus yleistyvät etenkin teattereissa, konserteissa ja muissa esitystoiminnassa. Järjestelmien kasvaessa on usein luontevampaa käyttää todellista vastaavia koordinaatteja kuin muita arvoja. Erityisesti UWB-tekniikan kehitys ja yleistyminen usealla eri alalla luultavasti laskee sen hintaa ja lisää käytettävyyttä myös esitys- ja teatteritekniikan alalla.

Osoitin omalla projektillani, miten sisätilapaikannusjärjestelmästä saadaan siirrettyä sijaintitieto valo-ohjaimelle. Tämä on mahdollista, koska siirrettävä tieto on melko yksinkertaista ja avoimia protokollia sen siirtämiseen on olemassa runsaasti.

Monet valmistajat tekevät laitteistoja sijaintipohjaiseen työskentelyyn, joihin saa laajenuksena sisätilapaikannusjärjestelmän. Tässä voi nähdä hyvänä puolena sen, että paikannusjärjestelmä on samassa ohjelmassa, jota käyttäjä muutenkin käyttää. Mikäli halutaan käyttää useampia järjestelmiä, on kiinnitettävä huomiota järjestelmien yhteensopivuuteen. Pahimpana uhkakuvana voi nähdä tilanteen, jossa valolle, äänelle ja videolle on kaikille omat sisätilapaikannusjärjestelmät. Onneksi tällä hetkellä useat valmistajat vaikuttavat sitoutuneen kehittämään ja tukemaan avoimia protokollia

sijaintitiedon siirtämiseen. Tämä on käyttäjälle erinomainen asia, sillä näin käyttäjä voi hankkia haluamansa sisätilapaikannusjärjestelmän ja liittää sen eri järjestelmiin ja laitteistoihin työskentelyä varten.

Pidän todennäköisenä, että sellaisten sisätilapaikannusjärjestelmien, jotka soveltuvat esitys- ja teatteritekniikan käyttötarkoituksiin, määrä lisääntyy ja hinnat laskevat UWB-tekniologian kehittymisen myötä. Näin sisätilapaikannuksen käyttö mahdollistuu myös muidenkin kuin suurimpien konserttien ja teatteriesitysten suhteen. On mielenkiintoista nähdä, minkälaisia käyttökohteita sille löytyy.

Lähteet

Ahmed, Syed Naveen Altaf ja Zeng, Yonghong 2017. UWB positioning accuracy and enhancements. *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, Penang, 2017, pp. 634-638. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8227939>

Aho, Eero 2006. Tilaääni. Helsinki: Idemcom Oy, Riffijulkaisut.

Alarifi, Abdulrahman, Al-Salman, AbdulMalik, Alsaleh, Mansour, Alnafessah, Ahmad, Al-Hadhrani, Suheer, Al-Ammar, Mai ja Al-Khalifa, Hend 2016. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*. 16, 1-36. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883398/>.

Blacktrax Frequently Asked Questions, 2020.Blacktrax. <https://blacktrax.cast-soft.com/faq/> (luettu 12.3.2020).

Claiborne, Vickie 2014. Media Servers for Lighting Programmers: A Comprehensive Guide to Working with Digital Lighting. Burlington: Focal Press

Do, Trong-Hop ja Yoo, Myungsik 2016. An in-Depth Survey of Visible Light Communication Based Positioning Systems. *Sensors* 16, no. 5: 678.

Etienne Corteel, Raphael Foulon ja Frédéric Changenet. 2016. A hybrid approach to live spatial sound mixing. Audio Engineering Society Convention Paper 9527.

Hameed, Anum ja Ahmed, Hafiza Anisa 2018. Survey on indoor positioning applications based on different technologies. 2018 12th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS), Karachi, Pakistan, 2018, pp. 1-5.

How does ultra-wideband work?. Pozyx b. <https://www.pozyx.io/technology/how-does-uw-b-work> (luettu 3.3.2020)

Howard, David M. ja Angus, Jamie 2006. Acoustics and psychoacoustics. 3. painos. Amsterdam: Focal Press.

Huntington, John 2017. Show Networks & Control Systems, second edition. New York: Zircon Design Press.

Laaksonen, Jukka 2006. Äänityön kivijalka. Helsinki: Idemcom Oy, Riffijulkaisut.

Leonard, John 2019. Get connected Blog. <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/bluetooth-5.1-puts-bluetooth-in-its-place> (luettu 12.3.2020).

Loudspeaker Configurations. L-Acoustics. <http://www.l-isa-immersive.com/live-sound/loudspeaker-configurations/> (luettu 18.3.2020).

Määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistajaajuuksista ja käytöstä 15 AO/2019 M. 9.1.2019. Liikenne- ja viestintävirasto. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/480001/44836>.

Mattes, Symeon, Nelson, Philip, Fazi, Filippo ja Capp, Michael (2012). Towards a human perceptual model for 3D sound localization. Proceedings of the Institute of Acoustics. 34.

MQTT Specification version 3.1.1. 2014. OASIS. <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>.

Out Board TiMax Tracker4D. Out Board. <http://www.outboard.co.uk/timaxtrack-erd4.html> (luettu 1.5.2020)

Parv, Liisa 2018. KIO RTLS case study: Berlin theatre company develops a new auto tracking camera system. <https://www.eliko.ee/auto-tracking-camera-system/> (luettu 6.5.2020)

PosiStageNet Applications and devices. Posistagenet.net. <http://www.posistage.net/applications-and-devices> (luettu 22.1.2019).

PosiStageNet Protocol description v2.0. 2016. VYV Corporation & MA Lighting Technology GmbH. http://www.posistage.net/wp-content/uploads/2016/09/PosiStageNetprotocol_v2.02_2016_09_15.pdf.

Positioning protocols explained. Pozyx a. <https://www.pozyx.io/technology/positioning-protocols-explained> (luettu 12.3.2020)

Pulkki, Ville ja Karjalainen, Matti 2015. Communication Acoustics: An Introduction to Speech, Audio, and Psychoacoustics, First edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd.

Rumsey, Francis 2018. Spatial audio Channels, objects, or ambisonics? JAES Volume 66 Issue 11 pp. 987-992; November 2018.

Schmeder, Andrew, Freed Adrian ja Wessel David 2010. Best Practices for Open Sound Control. <http://opensoundcontrol.org/files/osc-best-practices-final.pdf>.

Shankland, Stephen 2019. Apple built UWB into the iPhone 11. Here's what you need to know (FAQ). <https://www.cnet.com/news/apple-built-uwb-into-the-iphone-11-heres-what-you-need-to-know-faq/> (luettu 11.11.2019)

The Real Time Tracking Protocol. RTTRrP. <https://rttrp.github.io/RTTrP-Wiki/index.html> (luettu 12.3.2020).

UWB Regulations - A Summary of Worldwide Telecommunications Regulations governing the use of Ultra-Wideband radio rev 1.2. 2015. Decawave.

https://www.decawave.com/sites/default/files/apr001_uwb_worldwide_regulations_summaryrev1.2.pdf.

VYV Albion. VYV b. <https://www.vyv.ca/products/albion/> (luettu 1.5.2020).

VYV portfolio Ooppera Baletti: Das Rheingold. VYV a. <https://www.vyv.ca/portfolio-item/das-rheingold/> (Luettu 1.5.2020).

Zacktrack Pro. Zacktrack. <https://www.zacktrack.com/zacktrack-pro-system> (Luettu 1.5.2020).

Liitteen otsikko

Liitteen sisältö

Liitteen otsikko

Liitteen sisältö